

SCIENCE ET DYNAMIQUES ÉCONOMIQUES

Le cas des biopolymères

Martino NIEDDU 1 (doc ocrisé orthographe non revue pagination de la revue respectée)

Constatant que le domaine des biopolymères est une construction sociale, nous décrivons dans une première partie une posture méthodologique permettant de rendre compte de cette construction. La deuxième partie est consacrée à l'identification des acteurs de cette construction et au mode de structuration de son champ scientifique. La troisième montre que ce domaine connaît une phase de difficultés à laquelle les scientifiques contribuent par leur participation aux stratégies de rupture technologique.

L'ENCASTREMENT DE LA SCIENCE DANS LES DYNAMIQUES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

LES BIOPOLYMÈRES : UNE CONSTRUCTION PLUS SOCIALE QUE SCIENTIFIQUE

La thématique des biopolymères repose, comme toute la chimie des polymères, sur une étroite imbrication entre recherche fondamentale et industrie. Son émergence est le résultat de l'action des producteurs agricoles

1 Maître de conférences en Sciences Économiques, chercheur à l'ESSAI-CERAS (UFR Sciences Économiques, salle 1020, 57 bis rue P. Taittinger, 51096, Reims-Cedex).

Cet article est lié à une recherche sur contrat du groupe ESSAI, ayant reçu le soutien financier de la Ville de Reims et du Département de la Marne. Le point de vue présenté ici n'engage que son auteur, mais utilise des données issues des divers rapports intermédiaires de cette étude (voir bibliographie). L'auteur remercie par ailleurs M.-A. De Looze (INRA de Grenoble), J. Clad (Université de Reims), et C. Bliard (Glycochimie, CNRS, Reims).

de grandes cultures qui cherchaient à redéfinir leur métier comme celui de « *moléculteurs* » indifférents à une utilisation alimentaire ou industrielle (Hervieu, 1991). Leur intention, face à une évolution de la demande adressée à l'agriculture défavorable au productivisme (Bonny, 1995), était de créer les conditions de nouveaux débouchés de masse hors de l'alimentation, de façon à maintenir les principales caractéristiques du modèle de production antérieur. Les avancées scientifiques et technologiques du génie des procédés devaient permettre de remplacer des polymères issus de la géomasse par ceux de la biomasse, selon une logique démarquée directement de la pétrochimie.

Réalisé à leur demande, le *Rapport au Conseil Économique et Social* du 16 décembre 1986 définissait les biopolymères comme « *des molécules longues extraites ou produites sur base agricole* » (7). Or, les termes biopolymères et biomatériaux étaient déjà en usage pour désigner des matériaux très spécifiques, dont la principale fonctionnalité est la compatibilité avec le corps humain tels que des prothèses ou des pansements internes. Ces matériaux peuvent donner lieu à des transferts du secteur médical à d'autres : c'est le cas des polyacides lactiques utilisés en prothèses temporaires qui sont en phase d'industrialisation dans le domaine de l'emballage (Biofutur, 171, 1997, 17 ; Vert, 1997). Par ailleurs, la distinction entre biopolymères et polymères non naturels n'est pas fondée pour les scientifiques travaillant sur la structure fondamentale de la matière. Ils considèrent comme polymère artificiel tout polymère créé en laboratoire fut-il issu de composés naturels, alors que d'autres scientifiques, plus tournés vers les applications, opposent polymères synthétiques et biopolymères (Cuq *et al.*, 1997).

Le champ des biopolymères correspond alors au recouvrement de trois sens différents¹ :

- Des polymères issus d'un procédé bio-industriel consistant à « *faire traiter des matières par des agents biologiques pour produire des biens* » (Sessi, 1996-4, 1), sans utiliser nécessairement un substrat issu de la biomasse.
- Des polymères issus de la biomasse réalisables par processus bioindustriels (enzymatiques ou bactériens) ou chimiques bénéficiant d'avancées récentes grâce aux métalloènes.
- Des polymères biodégradables, indifféremment issus de substrats agricoles ou de la géomasse, voire de mélanges, multicouches ou co- polymères des deux origines (Bureau *et al.*, 1996).

-

1. Cette mise en forme collective du champ des biopolymères (conduite avec Jean-Marc Bascourret, Jérôme Clad, Marie Delaplace, Antonin Gaignette, Richard Guillemet, Pascale Herman-Lassabe et Hakim Kabouya) a été utilisée pour une étude de brevets participant à la recherche mentionnée plus haut, menée en collaboration avec l'Inra (Bettel *et al.*, 1998).

- Il est nécessaire d'envisager un quatrième « bio », portant sur l'écobilan du processus de production : plus que les consommateurs, les concurrents immédiats cherchent à susciter ces écobilans pour les produits de grande culture, et les procédés de transformation de biopolymères.

LA COMPLEXITÉ DU RÔLE DE LA SCIENCE

Cette définition du champ des biopolymères montre qu'il n'y a pas ici un paradigme technologique au sens où Dosi (1988) l'entend, c'est-à-dire d'un mode de résolution unique ou au moins dominant des problèmes productifs, qui rende prévisibles les évolutions technico-économiques, mais un ensemble de voies, à la fois complémentaires et concurrentes comme souvent dans la filière agro-alimentaire (Fanfani *et al.*, 1991). L'hypothèse selon laquelle cette variété correspond à une phase préparadigmatique est une façon d'utiliser la notion de nouveau paradigme -notamment par Monsanto- comme outil de concurrence forçant les pouvoirs publics et les autres firmes à la rejoindre²

La recherche scientifique et les technologies doivent-elles se développer sous la seule influence de telles luttes concurrentielles ? L'absence de culture scientifique et technique permettant d'évaluer des alternatives possibles limite « la concrétisation d'une pression sociale pour maîtriser [les évolutions scientifiques] et technologiques »(Gonod, 1991, 594). Les économistes offrent-ils d'autres cadres analytiques que la notion de paradigme qui soient utilisables ici ? Depuis le début de la décennie, ils ont beaucoup produit sur l'articulation entre science et dynamique économique, dessinant ainsi « une nouvelle discipline, au carrefour de l'économie publique, de l'économie de la recherche et de l'économie des organisations » (Callon, Foray, 1997, 14), dont le ressort principal réside dans le constat d'un inquiétant déphasage entre le potentiel de la recherche fondamentale et la faiblesse de ses traductions dans les activités industrielles, *leitmotiv* de divers rapports français (Guillaume, 1998 ; Didier, Boyer, 1998).

Cette nouvelle économie de la science déplace les frontières du programme de travail des économistes hétérodoxes, producteurs traditionnels de théories de l'intervention publique sur la répartition entre groupes sociaux pour agir sur le rythme de la croissance (de la théorie de la répartition des classiques à Keynes - reprise par les régulationnistes dans leur cercle vertueux de croissance— en passant par l'hypothèse marxiste de

² A la suite de Monsanto, BASF crée, fin 1998, un joint Venture avec le Max-Planck Inst. for molécul. plan physiology et un autre avec l'ipk of plant Genetics and Crop Plant Research ; Rhône Poulenc annonce une alliance avec Dow Chemical en biotechnologies végétales, tout en indiquant que « les gènes qui auront un impact sur les process ne sont pas encore connus » (déclaration de Godard, Directeur de Recherche de Rhône Poulenc, reprise dans *Cultivar*, n° 452, 15 nov 1998).

relation entre système des droits de propriété et utilisation efficace des forces productives). Mais ils restent désarmés pour prendre en compte la nature des objets produits et être capables d'orienter socialement la production de ces objets, alors que toute une série de débats de société —le dernier en date étant celui qui porte sur les OGM- indique qu'il s'agit de questions d'actualité.

Or la mobilisation des activités scientifiques peut épouser n'importe quel moment de la filière des compétences du développement industriel car elle participe de la construction des savoirs technologiques, ces derniers étant soit des savoirs techniques directement issus de l'activité des scientifiques, soit des savoirs techniques formalisés par l'analyse scientifique de telle façon qu'ils soient reproductibles. De ce fait, la science est efficace y compris lorsqu'elle ne réussit pas à comprendre les mécanismes fondamentaux qu'elle met en œuvre³. Notre point de vue est qu'on n'a pas tiré toutes les conséquences du fait que la capacité d'acteurs sociaux à mobiliser la science à différents endroits des problèmes productifs aboutit à ouvrir le jeu concurrentiel en termes d'objets et de technologies. Les auteurs des différentes familles régulationnistes présentent sur cette question, non des divergences, mais trois postures méthodologiques selon les problèmes qu'ils ont à traiter, certains auteurs incarnant, plus que d'autres, telle ou telle posture.

POSTURES RÉGULATIONNISTES ET LECTURE DES DYNAMIQUES SCIENTIFIQUES

La première, d'inspiration mertonienne, est partagée par d'autres courants (Callon, Foray, 1997 ; Joly, 1997) : le maintien de la science dans une position relativement extérieure à l'Économie politique renvoie à l'idée que, ses progrès étant imprévisibles, l'intervention humaine doit se borner à organiser les institutions qui vont éviter que les scientifiques ne soient perturbés dans leurs travaux, -notamment par les intérêts de court terme des entreprises-. Certains régulationnistes y ajoutent un pari implicite optimiste, considérant qu'il est toujours possible aux dynamiques sociales d'orienter positivement les effets d'un changement scientifique exogène [Duharcourt (1998) ou la thèse de la double régulation de l'équipe de Fontvielle à Montpellier].

Dockès et Rosier, ainsi que Berlan (1989, 1998), insistent sur le caractère précoce du marquage par les intérêts sociaux ou économiques :

³ L'industrie des adhésifs -avec ses *success stories* comme celle de la firme 3M- a pu se développer depuis les années 1930, alors que le fonctionnement intime du collage échappait à la compréhension des physiciens : « *Tout réside dans la formulation des mixtures, qui fait encore largement appel à l'empirisme* » (Alberanghi, 1999, 25). Il en est de même de l'alimentaire, dont des gestes multiséculaires ont été industrialisés par une science de l'ingénieur, le génie des procédés, sans livrer leurs secrets aux scientifiques.

« *Le dispositif social de sélection oriente tant la recherche que les politiques scientifiques et que les processus de recherche-développement en fonction des intérêts en cause. (...) Loin d'être sélectionnées parce qu'elles sont efficaces, les innovations le sont parce qu'elles reproduisent ou renforcent des rapports sociaux, des formes diverses de domination* » (Dockès, 1998, 96). Cette posture est en mesure d'intégrer le vaste ensemble conceptuel construit autour des notions d'appropriabilité, d'opportunités et de compétition technologique, ainsi que la nouvelle sociologie économique qui analyse l'émergence de structures industrielles en termes d'encastrement de l'économique dans le social (Granovetter, 1985).

Les travaux régulationnistes les plus récents (Amable, Barré, Boyer, 1997) tout comme les travaux scandinaves en termes de systèmes nationaux d'innovation mettent en évidence des systèmes sociaux nationaux aux logiques internes différentes. Lordon (1997) interprète ce cadre conceptuel comme la généralisation de la théorie de l'avantage comparatif à un « avantage comparatif institutionnel » qui conduirait chaque système social à posséder une dynamique de mobilisation du système scientifique spécifique, et à se spécialiser sur les productions industrielles correspondantes. Le formatage institutionnel est, dans cette position analytique, le produit de configurations structurelles dont la pesanteur historique interdit les transformations brutales.

Ces trois postures posent chacune problème, de façon différente. Dans la première, la science n'est considérée que comme productrice d'innovations de rupture, ce qui est loin d'être le cas à tous les endroits du système de la technoscience, et toujours adaptable socialement, quelle que soit la trajectoire qu'elle imprime. La réalité se partage plus probablement entre les cas où la science est utilisée pour introduire une irréversibilité dans la compétition, ceux où il reste des degrés de liberté aux agents économiques et ceux où les accidents de l'histoire produisent l'irréversibilité (Foray, 1991). La deuxième ne fournit que les moyens d'une compréhension ex-post des conflits d'intérêt autour de la science et de la technologie. Elle ne donne ni les moyens de penser l'encastrement « socialement souhaitable » ni les outils pour mener le débat sur les alternatives technologiques. La troisième repose sur cette hypothèse forte que « la nature ne fait pas de sauts », et que les changements se font au voisinage de la configuration initiale (Lordon, 1997). Toutefois, les changements nécessitent d'introduire au moins un élément de nouveauté, dont rien n'indique qu'il n'interviendra pas dans un domaine scientifique (avec toutes ses différenciations possibles). L'observateur se trouve de ce fait dans l'incapacité de s'appuyer sur la notion de configuration comme cadre théorique, dès lors qu'il quitte le niveau macro-sociétal auquel l'analyse régulationniste est la plus efficace. Par ailleurs, si la position structurelle décrite à ce niveau est le produit de stratégies ayant abouti à des « verrouillages » non seulement scientifiques et technologiques, mais aussi institutionnels, elle peut être modifiée par les mêmes stratégies de long terme : on rejoint là une difficulté à penser le changement dans la posture structuraliste commune aux régulationnistes et aux tenants des systèmes nationaux d'innovation.

MARQUAGE SOCIAL DE L'INNOVATION ET DÉSORDRE TECHNOLOGIQUE

Ces trois postures ont néanmoins l'avantage d'attirer chacune l'attention sur un pan de la réalité. Les deux premières postures invitent à observer l'articulation entre les dynamiques propres à la science et les stratégies sociales, tandis que la troisième invite à prendre la mesure du contexte institutionnel dans lequel les innovations peuvent être amenées à se développer et des lacunes que ce contexte peut générer. Elles invitent à partir de l'identification des agents qui cherchent à résoudre des problèmes productifs en ayant recours à une avancée scientifique. Il est alors possible de préciser le contenu dynamique des approches régulationnistes. Même s'ils « ne savent pas l'Histoire qu'ils font », les acteurs économiques connaissent les ressources qu'ils sont à même de mobiliser et sont capables « de projeter le pas suivant ». Ils élaborent des projets stratégiques précisément parce que l'existence de tels projets est le mode de traitement cognitif des situations d'incertitude. Ils savent également que leur succès économique impose de créer des situations de verrouillage autour des techniques qu'ils maîtrisent.

Les travaux en gestion de l'innovation nous fournissent des catégories intermédiaires pour penser ces comportements en situation d'incertitude (Ponssard, 1993). Plutôt qu'une planification rigide de la recherche d'avantages technologiques, la construction d'un mythe rationnel sert d'instrument de coordination entre les agents. Ce mythe rationnel rend supportable la découverte de difficultés parce qu'il repose sur une hypothèse crédible de développement à long terme ; il opère également comme scénario non figé, intégrant progressivement les contraintes à mesure qu'elles sont identifiées.

La mobilisation de la science et donc ses effets sur la dynamique économique ne sont, pour reprendre les catégories utilisées par Vigezzi (1991), prévisibles que lors de phases d'ordre technologique particulièrement stables, où il n'existe qu'un seul sentier pour le changement. En revanche, en phase de désordre technologique, l'éclatement des principes techniques dominants conduit à des stratégies non coordonnées, et à des tentatives de mise en forme d'axes technologiques, s'organisant autour de « mythes rationnels » nombreux voire contradictoires. Ces mythes rationnels sont les témoins de stratégies de marquage social de l'innovation, et leurs scénarios incorporent une représentation de ce que devrait être le rôle de la science dans le développement. Les conflits sur la mobilisation de la science peuvent être repérés au niveau des discours

qui expriment la concurrence entre mythes rationnels et qui s'affrontent pour

ester leurs cohérences internes respectives.

LES BIOPOLYMERES ENTRE ESPOIRS ET DIFFICULTES DE DÉVELOPPEMENT

Cette lecture en termes de mythe rationnel permet de s'appuyer : directement sur les représentations du champ des biopolymères qu'en donnent les acteurs, qu'il s'agisse des acteurs économiques, des pouvoirs : publics, ou des scientifiques. Nous disposons de suffisamment de recul, **1** après plus de dix ans d'efforts de ces acteurs, pour y lire les stratégies de *i* marquage social et d'appropriation.

I LES ACTEURS D'UN UNIVERS INCERTAIN ET CONTROVERSÉ

L'utilisation de polymères naturels à des fins non alimentaires n'est pas une nouveauté, mais la régénération d'un axe de recherche assoupi⁴. Une demande croissante, quoique exprimée de façon confuse, autour du f. problème des déchets, se traduit par une réflexion dans les domaines des £ emballages plastiques ; simultanément, il se trouve des opérateurs pour se demander comment capter ce besoin diffus et le transformer en contrats de *t* recherche (pour les scientifiques) ou en marchés structurés (pour les entreprises).

L'univers controversé de la gestion des déchets

La demande sociétale d'environnement présente cette similitude avec la demande alimentaire qu'elle n'a guère que le pouvoir de refuser des produits, et ne peut s'exprimer que médiatisée par d'autres acteurs : les firmes qui la traduisent en objets de consommation, les pouvoirs publics qui produisent des institutions supports et des cadres réglementaires, les mouvement d'opinion (partis verts et mouvements écologiques) qui pèsent sur des scientifiques sensibles aux débats de société, et dont les mobilisations obligent firmes et pouvoirs publics à modifier leurs comportements. L'efficacité de ces mouvements pèse directement sur la nature et le degré de mobilisation de la science. L'intensité de la demande sociétale allemande apparaît dans le fait que de grandes firmes ont décidé d'instituer ce pays en marché test.⁵ Elle réside ensuite dans l'existence

4 La cellulose est toujours restée un substrat de base pour la création de polymères synthétiques. Au début du siècle, Louis Lumière utilisait pour son procédé de photographie couleur (autochromes) des grains d'amidon de pomme de terre.

5 Danone a testé en 1998 uniquement en Allemagne un pot de yaourt biodégradable. Rhône Poulenc dépose un brevet en Allemagne uniquement, avec une équipe entièrement allemande. Faut-il penser que l'entreprise française envoie comme message qu'elle investit le problème de la biodégradabilité, en mettant une recherche à la publication, mais se contente de le faire en Allemagne ? (Brevet DE951017763, Rhodia AG Rhône Poulenc, Bettel, et *al.*, 1998)

d'institutions supports de la structuration de la recherche comme AGRICE en France, la FNR (FachagenturNachwachsende Rohstoffe e.v.) en Allemagne, Carmen en Bavière, ou comme les programmes AIR puis FAIR de la communauté européenne⁶.

Les offreurs de biopolymères, comme le monde agricole, espéraient la mise en œuvre de normes environnementales favorables à la biodégradabilité. Ils vont avoir à affronter d'autres solutions techniques. Il est manifeste que les grandes entreprises présentes dans les comités d'experts nationaux et européens, elles-mêmes productrices et utilisatrices de matériaux plastiques traditionnels, et directement concernées, de par l'importance croissante des emballages dans la logistique et la commercialisation des produits, ont pesé pour éviter une rupture fondamentale par rapport aux évolutions passées. Les recommandations mettent l'accent d'abord sur les économies de matière que cherchaient déjà à obtenir les firmes, et ensuite sur l'incinération et le recyclage.

Ces solutions conviennent aux producteurs des matériaux plastiques d'origine fossile très virulents vis-à-vis des matériaux biodégradables, à partir de deux arguments. D'une part, la biodégradabilité supposant la destruction par des micro-organismes vivants, on ne peut prévoir le moment de démarrage du processus ; de ce fait, la biodégradabilité serait incompatible avec la fonction emballage, le contenant devant avoir une durée de vie plus longue que le contenu. D'autre part, la biodégradabilité désresponsabiliserait le consommateur, et risquerait de polluer les nappes phréatiques alors que les plastiques classiques restent inertes (Reyne, 1998) ; cela limiterait l'usage des produits biodégradables à des usages spécifiques (médicaments datés, sacs poubelles). En revanche, les plastiques issus de la pétrochimie sont parés des vertus de la réutilisation et du recyclage.⁷ Après une longue phase d'hésitation au début des années 1990, les pouvoirs publics envoient des signaux fortement favorables aux solutions proposées par les industriels, en fixant un taux minimal de recyclage (15% pour chaque matériau plastique) et de valorisation (50%), qui limite la mise en décharge des déchets.

Ce choix n'éteint pas le débat. La science va être sollicitée dans une très large palette de spécialités, à titre d'expertise, précisément parce qu'il existe une controverse entre les différentes solutions techniques. Elle révèle qu'aucune de ces voies n'est en l'état réellement satisfaisante.

Les éco-toxicologues s'avèrent très critiques sur l'incinération, un moment conçue comme le circuit idéal. Les polyméristes découvrent les difficultés de la régénération de plastiques d'âges et d'usage différents, et les verrous techniques

6 Agrice est un groupement d'intérêt scientifique (Gis) accueilli par l'Ademe qui rassemble, aux côtés de représentants des ministères concernés, l'institut Français du Pétrole, l'INRA, le CNRS, l'Ademe, des organismes de filières agricoles, l'Onidol (oléagineux), l'APBG (producteurs de betteraves), la CGB (blé), et enfin des firmes (Rhône Poulenc, Total, Limagrain). Les institutions allemandes s'en différencient par le fait qu'elles agrègent un nombre plus important de PME, et réalisent des expertises techniques pour elles.

7 « *Ayant servi l'humanité une première fois, comme emballages, ces matériaux [issus de la pétrochimie], par leurs pouvoirs calorifiques élevés, aideraient au fonctionnement des usines d'incinération des déchets ménagers, et retrouveraient ainsi, dans cette seconde utilisation, leur vocation originelle et naturelle de combustible* » (Henry, 1997, 70).

liés à la conception de polymères non conçus pour le recyclage. Les biologistes montrent que le recyclage affaiblit les « qualités barrière » de sécurité alimentaire.

La controverse a également révélé que la biodégradabilité est un phénomène complexe, qui n'avait pas été théorisé. La filière industrielle de biodégradation des déchets manque encore d'une norme,⁸ laquelle nécessite un soutien important des scientifiques. Cela ne la condamne pas totalement : les coûts de recyclage sont croissants à mesure qu'on se rapproche de l'objectif des 15% de recyclés, ce qui contribue à maintenir ouvertes les autres alternatives technologiques alors que les pouvoirs publics n'arrivent pas à stabiliser la cohérence de leur choix réglementaire. Il est donc logique de se demander si l'avenir n'est pas dans la recherche d'une complémentarité entre les alternatives du recyclage et de la biodégradabilité, contrairement aux discours tenus par les spécialistes des différents camps.

Agriculture et mobilisation de la science

L'émergence de la thématique des biopolymères, comme tentative de réponse à la crise de l'agriculture productiviste, se situe sur un terrain difficile : la contestation des puissantes filières de la pétrochimie, à partir d'une position largement extérieure aux marchés finaux que ces filières contribuent à satisfaire. Le monde agricole attend des scientifiques qu'ils lui ouvrent des solutions de substitution. C'est la logique de construction de ces sollicitations qui nous intéresse ici.

Certains micro projets peuvent être mis en œuvre en mobilisant les bases scientifiques technologiques collectives tournées vers les PME (les IUT et les CRUT). Mais la lutte contre la saturation des marchés implique, dans un pays comme la France, où le poids de l'agriculture productiviste est

⁸ La norme allemande DIN 54900 et les procédures de certification ne sont étudiées que depuis 1997. La filière allemande tend donc à s'organiser, mais certaines installations de compostage refusent les emballages biodégradables qui se dégradent moins vite que les déchets organiques. La filière française attend du projet de norme harmonisée PR EN 13432 qu'il spécifie les critères d'acceptation de la composition des matériaux, de la biodégradabilité des constituants, et de la qualité du compost résultant (Lambert, 1999).

important, d'ouvrir de grands marchés de masse, là où d'autres pays ont plutôt privilégié les produits à haute valeur ajoutée¹.

Une première solution explorée s'appuie sur les biocarburants. Le *Rapport Lévy* (1993) a montré qu'ils ne pouvaient atteindre une crédibilité permettant de revendiquer des subventions qu'en s'appuyant sur la valorisation des co-produits par la lipochimie. Une reconstitution des engagements de financement de l'organisme public Agrice à partir de leur présentation au colloque des 22-23 avril 1997 (Paris) montre que les programmes associables à la filière biocarburant-lipochimie représentent à peu près les trois-quarts de son effort de financement de programmes scientifiques en 1996 (notre calcul).

La seconde repose sur le territoire comme lieu d'impulsion et de coordination des agents économiques travaillant à la réalisation de nouveaux produits. Les bassins de production agro-industriels cherchent à se différencier en captant une part des opportunités technologiques ou scientifiques existantes : « *La région Champagne-Ardenne a retenu l'axe de connaissance de la matière première végétale, mais non celui de la génétique, alors qu'en Picardie il y a un pôle de biotechnologie végétale important. Je crois que la région de Nancy a retenu le génie chimique et axe la chimie organique sur les lipides. (...) Je crois que les différentes régions sauront éviter les duplications* » (De Baynast, 1993). Les projets régionaux portent à la fois sur une valorisation des co-produits de l'agriculture (pulpe de betterave, rafles de maïs, tourteaux, pailles), et sur de nouvelles valorisations pour de grandes familles de substrats (amidon, protéines, cellulose).

Dans les deux cas, l'intensité scientifique requise peut être tout aussi forte que pour la recherche de molécules à hautes valeurs ajoutées. La différence réside dans le fait que les acteurs qui organisent la gouvernance territoriale savent que l'appropriation de la recherche scientifique requiert un stock minimum de compétences préalables. Lors de la répartition des financements qu'ils contrôlent, cela les conduit à écarter des programmes de recherche dont les développements industriels leur apparaissent trop étrangers aux compétences régionales : le type d'acteurs porteurs de projets de développement est donc un déterminant de la définition du produit final (Delaplace *et al.*, 1997).

1. *Le Rapport Demarescaux* du 2 déc. 1998 raisonne les perspectives de développement des productions agricoles à usage non alimentaire selon ces deux critères productivistes que sont les tonnages et les surfaces, plutôt qu'en termes de création de valeur ajoutée. Il aboutit à une perspective d'utilisation des surfaces agricoles de 1,5 millions d'ha, ordre de grandeur qui doit être mis en rapport avec les quelque 30 millions d'ha de surface agricole utile du pays, dont environ 1/3 est consacré aux productions céréalières. On aboutirait alors à une estimation de 12 à 15% des surfaces dédiés aux productions à usage non alimentaire, ce qui serait tout à fait remarquable. - • -

LE MONDE DE LA SCIENCE FACE AUX SOLLICITATIONS

Les premiers projets copiaient la logique de la raffinerie de pétrole, pour « des chaînes carbonées à tout faire » selon des principes scientifiques déjà reconnus. Cette « phase d'imitation » se complexifie lorsque le monde agricole prend conscience de l'existence d'un certain nombre de brevets pouvant constituer autant de verrous. Il assigne alors implicitement aux scientifiques mobilisés dans ses réseaux une mission de contournement de tels brevets (Nieddu, 1995), ce qui ne peut que nous inviter à porter notre attention sur ceux-ci, avant de décrire le mode de structuration du monde de la science.

•

Scientifiques et stratégies de production de ruptures technologiques

Dans une étude en cours (Bettels *et al.*, 1999), nous avons recensé les brevets se revendiquant comme parties prenantes du champ des biopolymères sur une période allant de 1992 à 1997, et dégagé de leur traitement scientométrique trois hypothèses de lecture.

* 1) La très grande variété de leur intensité technologique apparaît dans la variété des acteurs (du scientifique d'Europe de l'Est se rêvant comme inventeur individuel, à la très grande firme multinationale ou au grand organisme de coordination de la recherche). Certains brevets portent sur des utilisations de tourteaux, de farines ou d'amidons à peine modifiés et des technologies de basse intensité. D'autres relèvent de la chimie classique des polymères, nécessitant la mise en œuvre de technologies plus sophistiquées (multicouches, copolymères, etc.). Ils sont souvent pris par ces grands de la chimie susceptibles d'être contestés par l'émergence de produits biodégradables⁹.

2) Les brevets sont rarement finalisés de façon précise : le traitement lexicographique réalisé par M.A. de Looze (INRA de Grenoble) montre que les thématiques revendiquées comprennent près de quatre classes différentes par brevet, ce qui signifie que leur secteur final n'est pas défini ; les locutions dominantes portent sur les formulations des polymères. Les emballages, cible principale des biopolymères en vue d'un développement industriel, ne pèsent que 2,8% des revendications en termes de classes. Les avancées scientifiques cherchent donc encore le secteur pertinent qui les transformera en innovation.

⁹ Les déposants les plus importants de notre corpus, tous pays confondus, sont les Allemands Basf et Bayer-Wolff Walsrode AG avec plus de trente brevets, suivis du chimiste japonais Shimatsu (24 brevets). La troisième catégorie porte sur des technologies de fermentation à fort contenu scientifique et susceptibles de produire une rupture technologique.

3) La quasi-totalité des brevets porte sur une description des composants de base des mélanges définissant un polymère nouveau. Rares sont leurs résumés décrivant les paramètres des conditions physiques d'utilisation de telles formulations, ce qui suggère une lacune du réseau de connaissances dont ont besoin les industriels. En revanche, ils révèlent une vision stratégique dans laquelle la création d'un nouveau polymère suffirait à dominer la filière dont il est l'origine : une telle stratégie d'appropriation est le moteur d'une mobilisation de la science tout à fait particulière, allant, pour les grands de la chimie, jusqu'à doubler les polymères synthétiques de brevets identiques revendiquant l'utilisation de ressources naturelles.

Le mode de structuration du champ scientifique des biopolymères

Si le monde scientifique apparaît bien comme un lieu et un enjeu de concurrence, il reste qu'il obéit à ses propres règles de spécialisation et de cohérence interne. En France, il a d'abord répondu aux sollicitations par les unités de l'INRA et du CERMAV déjà engagées dans des programmes de compréhension de la structure fondamentale de la matière première agricole (amidon à Nantes, cellulose à Grenoble, protéines à Montpellier). Des unités CNRS ont fait apparaître un fléchage biopolymères dans leurs thématiques ; mais plus qu'une spécialisation nouvelle, il s'agit de l'annonce que certains problèmes peuvent être traités à partir de leurs programmes initiaux.

La logique des biopolymères porte une référence à des objets finaux en partie contradictoire avec cette structuration par programmes fondamentaux, dont l'évaluation repose sur l'expertise des pairs du domaine (Joly, 1997). C'est probablement la raison pour laquelle les modes d'incitation et de coordination des efforts scientifiques dans le domaine des biopolymères sont passés par deux canaux visant à rompre avec ce cloisonnement des programmes scientifiques. Les colloques ont été utilisés pour diffuser la thématique et rassembler les diverses familles de spécialistes estimés nécessaires par les institutions supports ; les allemands de la FNR jouent ici un rôle de précurseurs avec leurs symposiums annuels depuis 1992 « *Nachwachsende Rostoffe - Perspektiven für die Chemie* ».

Les structures de gouvernance européenne et régionales ont mené la même stratégie de contournement du cloisonnement de programmes de recherche nationaux. Les programmes Air, menés de 1991 à 1994, puis Fair¹ cherchent à mobiliser les scientifiques pour le monde industriel selon une logique de l'intégration dans des filières de compétences (« *green chemical and polymer integrated chain approach* », European Commission, 1998, ...). Les régions visent également la mise en cohérence de ces filières

1. FAIR finance 63 programmes de RD dans le domaine des matières premières renouvelables (9% de l'ensemble des programmes FAIR). FAIR conditionne le financement des projets à la présence d'un acteur industriel en ne finançant que 78 MECU des 121,74 MECU du montant total des 63 projets.

de compétences scientifiques complètes : ces compétences sont organisées en réseaux, et les équipes dispersées géographiquement incitées à rejoindre ces réseaux locaux. C'est le cas du biopôle picard qui essaie de se structurer autour des biotechnologies, et d'Europôle Agro en Champagne-Ardenne qui dispose déjà d'un regroupement consistant autour de la chimie des glucides. Les documents d'Europôle Agro font référence à cette notion de filière de la science, partant de l'étude des sols et de la plante, pour aller vers le fractionnement et la transformation industrielle, et de la recherche sur la structure fondamentale de la matière aux savoir-faire de polyméristes, en passant par les spécialités liées au fractionnement (microbiologie, biologie moléculaire). Les stratégies agricoles rencontrent ici celles de groupes de scientifiques qui crédibilisent leurs programmes de recherche par leur capacité à démontrer qu'ils s'insèrent dans des problématiques économiques.

fsV

Les difficultés intrinsèques au monde de la science

Ces tentatives pour mettre en forme le travail des scientifiques butent sur le fait que la mise en cohérence d'une filière scientifique suppose que les compétences à assembler soient connues de façon fine. Or les travaux des scientifiques suggèrent d'eux-mêmes que l'étendue des incertitudes technologiques auxquelles ils sont confrontés rend la définition d'une filière de la science hasardeuse, et par-là même les stratégies territoriales de concentration de compétences scientifiques aléatoires. On s'appuiera, pour s'essayer de décrire ce problème, sur trois conférences prononcées à Reims le 5 novembre 1998 dans le cadre de la société française de chimie¹

Ainsi, l'étape du fractionnement des substrats végétaux pour la production de monomères par hydrolyse des polysaccharides dont ils sont porteurs met en œuvre trois procédés catalytiques alternatifs, la catalyse homogène, la catalyse hétérogène et la catalyse enzymatique ; le programme développé par Moreau explore une alternative interne à la catalyse hétérogène, la substitution de résines sulfonides par des zéolithes (cristaux agissant comme des réacteurs moléculaires), sans qu'il lui soit possible d'attribuer à l'un d'entre eux une supériorité intrinsèque. De la même façon, Plusquellec présente trois solutions de synthèse glycosidique, la voie chimique traditionnelle et deux voies bio-industrielles, la voie bactérienne et la voie enzymatique. Il indique par ailleurs que ces voies peuvent conduire à des applications médicales à très faibles tonnages, très valorisantes du point de vue de la recherche étant donnés les degrés de précision atteints dans la définition des monomères, ou à des tonnages importants dans les

¹v 1. Moreau Cl. (UMR CNRS 5618, Montpellier), «Nouveaux procédés catalytiques pour la transformation alimentaire et non alimentaire des hydrates de carbone en présence de catalyseurs solides micoporeux » ; Plusquellec D. (CNRS ESA 6052, ENSC Rennes), « De la pulpe de betterave aux analogues de glycolipides membranaires d'archaebactéries » ; Descotes G. (UMR 143 CNRS/Béghin-Say, Lyon), « La sucrochimie, ses pièges et ses espoirs ».

tensioactifs : on peut mesurer ici combien la définition de la filière intégrée pour désigner une cible en termes de marché peut être instable, lorsque les scientifiques sont, de par leurs découvertes, appelés à être mobiles entre différents réseaux techniques.

Les discours tenus par Descotes et Plusquellec confirment également que la complexité liée à l'origine naturelle des substrats utilisés pose problème. Au début des années 1980, la prospective indiquait trois secteurs d'avenir, le micro-ordinateur, le téléphone portable et ... les tensio-actifs à base de saccharose. Ce qu'on a trouvé s'est révélé trop cher ou trop difficile à mettre en œuvre. La chimie académique consiste à décomposer et à purifier des produits, pour étudier ensuite des combinaisons de produits purs. Or les macromolécules d'origine naturelle sont « surfonctionnalisées » et ne peuvent présenter de telles qualités de pureté, sauf à des conditions de coût prohibitif. Cela revient à opérer une petite révolution intellectuelle que les scientifiques hésitent à franchir : il faut accepter que les fonctionnalités nouvelles soient trouvées, non dans la décomposition en éléments purs, mais dans la complexité d'assemblages systémiques surprenant l'observateur le plus averti. Ce n'est pas seulement l'incertitude habituelle sur les résultats du travail scientifique qui est en cause ici. C'est le fait qu'elle entre en contradiction avec la stratégie de filière des compétences scientifiques alors même que cette stratégie, en imposant aux scientifiques d'utiliser des substrats agricoles, les oblige à se confronter aux fondements mêmes de leur méthode.

LES PROBLEMES DE COORDINATION AU CŒUR DES DIFFICULTÉS DE DÉVELOPPEMENT DES BIOPOLYMÈRES ?

Le descriptif de la phase actuelle du développement des biopolymères fournit trois raisons pour que cette phase ne puisse être qu'un moment de désordre technologique. A l'instabilité liée à l'absence de crédibilité du cadre réglementaire portant sur la gestion des déchets d'emballage et l'incapacité des programmes scientifiques à sélectionner les itinéraires techniques pertinents, il faut ajouter les effets produits par les comportements des acteurs intervenant dans le domaine des biopolymères.

LES ORIGINES DES DÉSORDRES TECHNOLOGIQUES

Ce contexte de désordre technologique devrait conforter des stratégies d'inspiration schumpéterienne, puisqu'elles visent en principe à démontrer la supériorité d'une solution sur d'autres, condamnées alors à disparaître ; ce qui dans notre terminologie mettrait un terme à la phase de désordres, et dans la terminologie néo-schumpéterienne marquerait l'entrée dans une phase paradigmatique. Cette solution n'est fondée que si elle réussit à apporter de nouvelles solutions technologiques ou de nouveaux produits.

C'est de ce point de vue que les deux types de stratégies qu'il est possible d'identifier sont, au moins temporairement, en échec.

Les premières sont portées par des acteurs qui doivent partir d'un positionnement extérieur aux marchés qui sont leur cible (les producteurs agricoles et la firme Cargill qui doit sa fortune au commerce international des céréales). Il s'agit de stratégies de projets démonstratifs visant à faire la preuve de la pertinence du choix d'utilisation des biopolymères auprès d'utilisateurs qui ne sont pas particulièrement demandeurs. Or, « pour changer de matière première, il faut une forte incitation technique ou économique, en raison des nombreuses répercussions à tester chez les Utilisateurs »*. Les projets démonstratifs ont vocation sinon à prendre en charge, du moins à alléger les coûts de substitution pour ces utilisateurs : le projet démonstratif relève donc d'un investissement pour acquérir l'ensemble de l'information nécessaire permettant un engagement de long terme. Les institutions régionales ou les firmes liées à l'agriculture qui pilotent ces projets doivent porter du stade laboratoire au stade industriel des innovations qui prendront place à des endroits souvent hors de portée de la stratégie d'intégration descendante du capital agricole, compte tenu de la masse de capital et des savoir-faire qu'il faudrait mobiliser. Le pot de yaourt biodégradable de Danone représente le projet le plus achevé en matière de formation d'un réseau non lacunaire : celle-ci comprend le producteur du nouveau polymère (Cargill), une firme chimique expérimentée le transformant (Dow Chemical), un géant de l'alimentaire maîtrisant le marché final (Danone), et enfin un acteur généralement oublié, le producteur d'emballages capable, si on lui fournit une formulation, d'optimiser ses Conditions physiques de transformation en objet plastique, ce qui suppose la maîtrise de savoir-faire non brevetables portant sur la conduite de machines de casting ou d'extrusion (Autobar flexible).

Pour faire leurs preuves, ces projets doivent ensuite s'insérer dans des systèmes définis par un couple prix/qualité, à partir de leurs avantages fonctionnels. Cela suppose que de tels systèmes -en l'occurrence, les emballages biodégradables- soient stabilisés : Danone échoue dans le test du marché allemand tout simplement parce que son pot de yaourt biodégradable ne trouve pas le système stable de normes de traitement de déchets qui permette, soit de l'invalider définitivement, soit d'acter de son succès. Les besoins en scientifiques ne portaient donc pas sur les domaines permettant obtenir un avantage par une rupture technologique (le polyacide lactique), mais sur des domaines de construction de biens publics (une réglementation fondée et efficace) certes moins attractifs économiquement.

: v •

Le succès des stratégies d'appropriation par « brevet de formulation » devait se traduire par l'agglomération d'un certain nombre de firmes autour

- Ce poster (ARD, Cray Valley, Total, colloque Agrice, 22-23 avril 1997, Paris) justifiait l'abandon d'un programme de recherche en valorisation de co-produits de la filière éthanol, en *avançant également* : « chimie trop complexe difficilement industrialisable ».

d'un polymère produit par la science. Les experts ont pu noter dans d'autres domaines des agro-industries que le refus de la transparence et la rétention de l'information par les industriels ont conduit parfois à des efforts scientifiques sans firmes. Le même argument a été entendu à propos de grands amidonniers qui auraient pu être des partenaires naturels dans le non-alimentaire. Ce défaut de coordination des offreurs de nouveauté et des utilisateurs potentiels existe-t-il pour les brevets ? En interrogeant les bases de données d'institutions allemandes sur les firmes utilisatrices en Allemagne de polymères issus de matière première agricole, on est frappé par la médiocrité du phénomène d'agglomération autour des formulations proposées par les grandes firmes. Le polyacide lactique de Mitsui n'a aucune firme utilisatrice déclarée auprès de la FNR en 1998, le Mater-bi de Novamont, la famille de polymères biodégradables la plus ancienne, trois seulement, le Biopol de Monsanto qui se voulait leader n'en compte que deux dans *Adressverzeichnis, Nachwachsende Rohstoffe* (FNR, oct. 1998) !

UN ÉCHEC DES STRATÉGIES « SCHUMPÉTERIENNES » ?

Les difficultés des projets démonstratifs et la faiblesse de l'agglomération autour des firmes productrices de biopolymères brevetés pourraient conduire à un abandon des recherches dans ce domaine, ou la prise de positions d'attente, jusqu'à des périodes où les rapports de prix avec les substrats issus de la pétrochimie seraient favorables. Le type de difficultés que nous venons de décrire incite à penser que cette voie est loin d'avoir épuisé toutes ses potentialités et qu'il est possible d'attribuer l'échec des stratégies que nous avons qualifiées de « schumpéteriennes » à la trop grande confiance accordée par ces stratégies en la capacité du marché à produire spontanément les contextes dans lesquels elles pouvaient trouver leur validité.

La sensibilité des projets démonstratifs au contexte institutionnel n'est pas seule en cause. Le plus grand de ces échecs réside probablement dans l'importance sans doute excessive que les différents acteurs du monde des biopolymères attribuent à la mobilisation de la science dans l'activité de dépôt de brevets. Les difficultés liées à la création de la nouveauté sont écartées des discours tenus, puisque celle-ci est d'abord considérée comme un verrou à installer ou à contourner. Or le droit de propriété défini par le brevet est un objet organisationnel complexe, un mode de régulation de la contradiction sociale entre l'appropriation de connaissances produites par des agents privés décentralisés et la diffusion dans une économie fondée sur la division du travail.

Comme le note, non sans humour, Pavitt dans un texte récent (« What Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn't »), les pensées schumpéterienne et néo-schumpéterienne, en mettant l'accent sur les ruptures, échouent souvent à penser les processus d'organisation nécessaires

pour lier les technologies, les produits, leur production et les marchés. La thèse récente de Carpentier (1998) montre que dans les périodes de rupture technologique et d'incertitude qualitative très forte le problème n'est pas tant d'apporter une nouveauté produisant un avantage concurrentiel dans un environnement stable que de construire le contexte du futur cadre concurrentiel de marchés qui n'existent pas encore.

Le brevet participe alors de la régulation des activités de conceptualisation et de création de nouveauté qui sont au cœur de l'économie contemporaine. Les entreprises tout comme les chercheurs et les « institutions supports » qui gravitent autour d'elles doivent arriver à un minimum de coordination, de façon à construire les règles du futur environnement concurrentiel, et à organiser la circulation des informations nécessaires à cette construction. La science et le brevet sont des vecteurs d'ordre, lorsqu'ils stabilisent l'environnement économique, mais cet ordre peut être simplement un élément parmi d'autres de stratégies organisationnelles et non le produit d'une rationalité scientifique. Dans tous les cas, les ressources privées des firmes ne trouvent leur efficacité que dans la coordination avec des ressources publiques. De ce fait, les politiques publiques jouent toujours -qu'elles le veuillent ou non- un rôle direct dans la compétition entre alternatives technologiques.

Cela suffit à justifier que le pilotage public s'interroge, non pas sur le rôle général des avancées scientifiques comme outil d'innovation, mais sur leur rôle concret dans des situations de marché particulières. Cela revient à traiter de problèmes que les auteurs en innovation ne théorisent en général qu'à l'intérieur de grandes firmes multi-divisionnelles (Pavitt, 1998), alors qu'il s'agit de coordonner efficacement des acteurs appartenant à des organisations dotées de rationalités et d'objectifs différents (entreprises, centres de recherche, organismes de certification, etc...).

Une des difficultés réside dans le caractère non prédictible de la composition de filières de compétences aux frontières évolutives en fonction des avancées scientifiques et des projets. Les projets démonstratifs, outre qu'ils ont buté sur les problèmes réglementaires, subissent cette incertitude. Les attentes autour des avancées dans les biotechnologies, et l'opinion communément admise selon laquelle elles résoudraient beaucoup de problèmes de coûts en manipulant cette usine gratuite qu'est la nature, contribuent paradoxalement à remettre en cause les efforts antérieurs de mise en forme de filières de compétence dans le domaine des biopolymères : il faudrait attendre la réalisation effective des ruptures technologiques escomptées pour que cette mise en forme puisse à nouveau avoir lieu ... Ne faudrait-il pas circonscrire cette culture scientifique et technologique de la concurrence et de la rupture, destructrice de compétences, pour mieux tirer parti de la diversité des voies scientifiques et technologiques ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERANGHI (M.), 1999, « Deux chercheurs français percent le mystère des adhésifs », *Le Monde*, 13 fév., 25.
- AMABLE (B.), BARRÉ (R.), BOYER (R.), 1997, *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Paris, Économica.
- BASCOURRET (J.-M.), *et al.*, 1998, *Le rôle des contextes nationaux dans l'industrialisation des biopolymères à base d'amidon. Identification des structures industrielles émergentes en Allemagne et en France*, Université de Reims, Rapports intermédiaires.
- BERLAN (J.-P.), 1998, « Main basse sur le vivant », *Le Monde*, 17 octobre.
- BERLAN (J.-P.), ROSIER (B.), 1989, « Les nouvelles technologies agricoles comme production sociale », *Économie Rurale*, n° 192-193, 23-28.
- BETTELS (B.), COLONNA (A.), DE LOOZE (M.-A.), NIEDDU (M.), 1998, *Les brevets dans le domaine des biopolymères issus de matières premières agricoles*, 34, Rapport intermédiaire, octobre.
- BONNY (S.), 1995, « Quelles innovations dans l'agriculture française entre crise, mutations de la demande et avancées scientifiques ? », *Cahiers de l'innovation*, n° 2, 91-115.
- BOYER (R), DIDIER (M.), 1998, « Relancer une dynamique de croissance durable par l'innovation », *Innovation et Croissance*, n° 10, 11-132.
- CARPENTIER C., 1998, *Économie du brevet : nouveaux apports théoriques et empiriques*, thèse, Paris, EHESS.
- CALLON (M.), FORA Y (D.), 1997, « Nouvelle économie de la science ou socioéconomie de la recherche scientifique », *Revue d'Économie Industrielle*, n° 79, 13-31.
- CLAD (J.), 1998, « *Économie de la science et étude sectorielle, l'exemple des brevets sur les biomatériaux* », Université de Reims.
- CUQ (B.), GONTARD (N.), GUILBERT (S.), 1997, « Les matériaux d'emballages à base de polymères naturels », *IAA*, mars, 110-116.
- DELAPLACE (M.), GAIGNETTE (A.), HERMANN-LASSABE (P.), NIEDDU (M.), 1997, « De la politique technologique locale à l'industrialisation locale d'un projet innovant », colloque de l'ASRDLF, Lille, 1-3 sept.
- DEMARESCAUX (P.), 1998, *Situation et perspectives de développement des productions agricoles à usages non alimentaires*, rapport remis au Premier ministre.
- DOSI (G.), 1988, « Sources, procédures, and microeconomic effects of innovation », *Journal of Economic Literature*, vol XXVI, sept., 1120-1171.
- DOCKÈS (P.)» 1998, « La nouvelle économie institutionnelle, l'évolutionnisme et l'histoire », *Revue Européenne des Sciences Sociales*, tome XXXVI, n° 110, 77-96.
- EUROPEAN COMMISSION, 1998, *F air programme, renewable biomaterials, green chemical and polymer integrated chain*, EUR 18304EN.
- FANFANI (R.) *et ai*, 1991, « Changement technique et restructuration de l'industrie agro-alimentaire en Europe, une réflexion théorique », *Actes et Communications*, n° 7, octobre, 28-58, INRA-ESR.

- FORA Y (D), 1991, « Dynamiques économiques et nouvelles exigences de l'investigation historique », *Revue Économique*, n° 2, 301-312.
- GAFFARD (J.-L.), 1990, « Innovations et changement structurel, revue critique... », *Revue d'Économie Politique*, n° 3, mai-juin, 325-382.
- GEST, 1986, « *Grappes technologiques. Les nouvelles stratégies d'entreprises* », Paris, Mac Graw Hill.
- GONOD (P.-F.), 1991, « Le système technologique », in J. de Bandt *et al.*, *Traité d'Économie Industrielle*, Economica, 594-624.
- GRANOVETTER (M.), 1985, « Economie action and social structure : the problem of embeddedness », *American Journal of Sociology*, n° 3, 481-510.
- GUILLAUME (H.), 1998, *Rapport de mission sur la technologie et l'innovation*, Paris.
- HENRY (M.-P.), 1997, *Les industries de l'emballage de consommation*, Paris, PUF, Que-Sais-Je ?
- JOLY (P.-B.), 1997, « Chercheurs, laboratoires dans la nouvelle économie de la science », *Revue d'Économie Industrielle*, n° 79, 77-94.
- KABOUYA (H.), 1998, *Contexte national et technologie émergente : perspectives de diffusion et de développement des matériaux biodégradables en Allemagne* (deux tomes), Université de Reims.
- LAMBERT (C.), 1999, « La réglementation européenne sur les matériaux biodégradables », colloque *Matériaux biodégradables et environnement*, Paris, 5 et 6 mai.
- NCAUR, 1997, « *Annual Report* », biopolymer research, National Center for Agricultural Utilization Research, Peoria, Illinois, USDA.
- PAVITT (K.), 1998, *Technologies, products & organisation in the innovating firm : what Adam Smith tells us and Joseph Schumpeter doesn't*, miméo, Science Policy Research Unit, Brighton, University of Sussex.
- PONSSARD (J.-P.), 1993, « Gérer la recherche-développement comme un défi », *Cahiers d'Économie et de Sociologie Rurales*, n° 28, 72-90.
- REYNE (M.), 1998, *Les plastiques*, Paris, PUF, Que Sais Je ?

Martino NEDDU

SESSI, 1996-4, *Émergence des bio-industries : un industriel de la chimie sur cinq en 1995*, Statistiques industrielles du ministère de l'industrie, Paris.

SUKLA (P.), TRIVENI, 1997, Report for the US Feed grains Council, *Environmental Microbiology*, n° 59, 1259-1263.

SIXTH SYMPOSIUM ON RENEWABLE RESOURCES FOR THE CHEMICAL INDUSTRY, 1999, *Industrial Corps and Products*, Elsevier Science.

VERT (M.), 1997, « Des polymères biodégradables mieux contrôlés pour des applications plus ciblées », <http://www.cnrs.fr/Cnrspresse/n43html>, juillet.

VIGEZZI (M.), 1990, « Ordres et désordres technologiques : les apports d'une théorie de la régulation », *Économies et Sociétés*, Série R, n° 5, décembre, 175-197.

WITT (U.) ^v*et al.*, 1996, *Biologisch abbaubare Polymere, Status und Perspektiven*, Fr. Patat-Zentrum, Braunschweig.